

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-234699

(P2003-234699A)

(43) 公開日 平成15年8月22日 (2003.8.22)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

フォーマット\* (参考)

H 0 4 B 10/00

H 0 3 M 13/43

5 J 0 6 5

H 0 3 M 13/43

H 0 4 B 9/00

B 5 K 1 0 2

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2002-186634 (P2002-186634)

(22) 出願日 平成14年6月26日 (2002.6.26)

(31) 優先権主張番号 特願2001-371150 (P2001-371150)

(32) 優先日 平成13年12月5日 (2001.12.5)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 富沢 将人

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 平野 章

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺

最終頁に続く

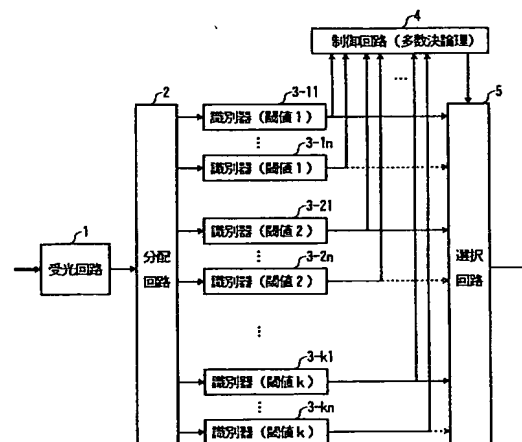
(54) 【発明の名称】 デジタル伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 雑音に制限された系と、フェージングに制限された系のいずれにも適用でき、しかも伝送ビットレートを上昇させずに高品質な伝送を可能とする。

【解決手段】 デジタルデータ信号を送信する送信装置と、伝送路を介して伝送されたデジタルデータ信号を受信し、所定の閾値と比較して識別再生を行う受信装置とを備えたデジタル伝送システムにおいて、受信装置は、同じ閾値を有する複数  $n$  個の識別器を 1 組として互いに閾値の異なる  $k$  組 ( $n \times k$  個) の識別器と、受信信号を各識別器に分配する分配回路と、各識別器の識別結果の 1 つを選択して出力する選択回路と、各識別器の識別結果を入力し、各組ごとに  $n$  個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その 1 つの組の 1 つの識別器の識別結果を選択するように選択回路を制御する制御回路とを備える。

本発明の第 1 の実施形態



	識別器 1	識別器 2	識別器 3
閾値 1	1	1	1
閾値 2	1	1	1
閾値 3	1	1	1
閾値 4	1	0	1
閾値 5	0	0	0

この中の 1 つを選択

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 デジタルデータ信号を送信する送信装置と、伝送路を介して伝送された前記デジタルデータ信号を受信し、所定の閾値と比較して識別再生を行う受信装置とを備えたデジタル伝送システムにおいて、前記受信装置は、

同じ閾値を有する複数  $n$  個の識別器を 1 組として互いに閾値の異なる  $k$  組 ( $n \times k$  個) の識別器と、

受信信号を前記各識別器に分配する分配回路と、

前記各識別器の識別結果の 1 つを選択して出力する選択回路と、

前記各識別器の識別結果を入力し、各組ごとに  $n$  個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その 1 つの組の 1 つの識別器の識別結果を選択するように前記選択回路を制御する制御回路とを備えたことを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項 2】 デジタルデータ光信号を送信する送信装置と、光伝送路を介して伝送された前記デジタルデータ光信号を受光し、その電気信号と所定の閾値と比較して識別再生を行う受信装置とを備えたデジタル伝送システムにおいて、

前記受信装置は、

同じ閾値を有する複数  $n$  個の識別器を 1 組として互いに閾値の異なる  $k$  組 ( $n \times k$  個) の識別器と、

前記電気信号を前記各識別器に分配する分配回路と、

前記各識別器の識別結果の 1 つを選択して出力する選択回路と、

前記各識別器の識別結果を入力し、各組ごとに  $n$  個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その 1 つの組の 1 つの識別器の識別結果を選択するように前記選択回路を制御する制御回路とを備えたことを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項 3】 デジタルデータ光信号を送信する送信装置と、光伝送路を介して伝送された前記デジタルデータ光信号を受光し、その電気信号と所定の閾値と比較して識別再生を行う受信装置とを備えたデジタル伝送システムにおいて、

前記受信装置は、

同じ閾値を有する複数  $n$  個の識別器を 1 組として互いに閾値の異なる  $k$  組 ( $n \times k$  個) の識別器と、

前記デジタルデータ光信号を  $n$  系列に分配する光分配回路と、

$n$  系列に分配された光信号をそれぞれ受光する  $n$  系列の受光回路と、

前記光分配回路または前記各受光回路の少なくとも一方の前段で光信号を増幅する光増幅器と、

前記  $n$  系列の受光回路から出力される電気信号をそれぞれ閾値の異なる  $k$  組の識別器に分配する  $n$  系列の分配回路と、

前記各識別器の識別結果の 1 つを選択して出力する選択

回路と、

前記各識別器の識別結果を入力し、各組ごとに  $n$  個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その 1 つの組の 1 つの識別器の識別結果を選択するように前記選択回路を制御する制御回路とを備えたことを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項 4】 請求項 3 に記載のデジタル伝送システムにおいて、

前記光分配回路に代えて、前記デジタルデータ光信号の光周波数を変換して複数の光周波数の光信号を出力する光周波数変換回路と、複数の光周波数の光信号を各光周波数ごとに分波して前記各受光回路に入力させる光分波器とを備えたことを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項 5】 請求項 3 に記載のデジタル伝送システムにおいて、

前記送信装置は、複数の周波数モードの光パルスを実数デジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、前記受信装置は、前記光分配回路に代えて、複数の周波数モードの光パルス信号を分離して前記各受光回路に入力させる光分波器を備えたことを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項 6】 請求項 3 に記載のデジタル伝送システムにおいて、

前記送信装置は、複数の光周波数の連続光を実数デジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、前記受信装置は、前記光分配回路に代えて、複数の光周波数の光変調信号を分離して前記各受光回路に入力させる光分波器を備えたことを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項 7】 請求項 3 に記載のデジタル伝送システムにおいて、

前記送信装置は、複数の偏波モードの光を実数デジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、前記受信装置は、前記光分配回路に代えて、複数の偏波モードの光変調信号を偏波ごとに分離して前記各受光回路に入力させる光偏波分離器を備えたことを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項 8】 請求項 3 に記載のデジタル伝送システムにおいて、

前記送信装置は、連続光あるいは光パルスを実数デジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、前記受信装置は、前記光分配回路に代えて、受信する光変調信号の光スペクトルを 2 分割分離して前記各受光回路に入力させる光サイドバンド分離器を備えたことを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項 9】 請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載のデジタル伝送システムにおいて、

前記識別器として、同じ閾値を有しかつ閾値が標準より高め（または低め）に設定された 1 組 ( $n$  個) の識別器

を備え、  
さらに、論理 1（または論理 0）の信号を前記選択回路  
に入力する固定電圧発生器を備え、  
前記制御回路は、前記 n 個の識別器の識別結果に論理 1  
（または論理 0）が含まれていれば、前記固定電圧発生  
器の出力信号を選択するように前記選択回路を制御し、  
前記 n 個の識別器の識別結果に論理 1（または論理 0）  
が含まれていなければ、その 1 つの識別器の識別結果を  
選択するように前記選択回路を制御する構成であることを  
特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項 10】 請求項 1～3 のいずれかに記載のディ  
ジタル伝送システムにおいて、  
前記識別器として、閾値が標準およびそれより高めおよ  
び低めに設定された 3 個の識別器を備え、  
前記選択回路には、閾値が標準より高めに設定された識  
別器の出力および標準に設定された識別器の出力が接続  
され、  
前記制御回路は、閾値が標準より高めおよび低めに設定  
された識別器の識別結果の一方が論理 1 であれば、閾値  
が標準に設定された識別器の識別結果を選択するように  
前記選択回路を制御し、両方ともに論理 1 または論理 0  
であれば、閾値が標準より高めに設定された識別器の識  
別結果を選択するように前記選択回路を制御する構成で  
あることを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項 11】 請求項 1～3 のいずれかに記載のディ  
ジタル伝送システムにおいて、  
前記送信装置から前記受信装置に、デジタルデータ信  
号またはデジタルデータ光信号が複数の伝送路を介し  
て伝送される構成であり、  
前記受信装置は、前記複数の伝送を介して伝送された信  
号の遅延時間差をそろえる遅延回路を備え、各伝送路か  
らの信号を前記複数の識別器に分配する構成であることを  
特徴とするデジタル伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、デジタル信号  
（電気信号、光信号）の伝送を行うデジタル伝送シス  
テムに関する。特に、伝送ビットレートを上昇させるこ  
となく高品質な伝送を可能とするデジタル伝送システ  
ムに関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバを用いた伝送システムでは、  
単一波長で 40Gbit/s もの伝送容量の実現が可能になっ  
ている。このような伝送システムで通常用いられている  
伝送方式は、IM-DD (Intensity Modulation - Dir  
ect Detection) と呼ばれる最もシンプルな方式である。  
この方式では、送信機は光強度をデジタル信号の 0 と  
1 に従ってオン/オフ変調し、受信機は光電変換により  
光強度を電気信号に変換し、識別器で所定の閾値に基づ  
いて 0 か 1 かの判定を行うことにより信号を再生する。

ここで、識別器に設定する閾値は通常固定して運用され  
るが、その閾値の決定に当たっては光ファイバ伝送路に  
接続しない状態で最適化する方法と、光ファイバ伝送路  
に接続した状態で最適化する方法がある。ただし、商用  
システムなどでは、適用範囲が広いために前者の方法が  
採用されている。

【0003】ところで、光伝送システムの受信機の識別  
器では、光ファイバの波長分散や光増幅器の自然放出光  
雑音などにより、0 と 1 の誤識別、すなわちビット誤り  
が発生する。このビット誤りは、40Gbit/s もの高速伝  
送になると伝送距離を制限する要因になるので、その対  
策が必要になっている。その対策としては大きく分けて  
2 つあるが、第 1 は誤り訂正 (FEC: Forward Error  
Correction) であり、第 2 は閾値フィードバック等化  
(DFE: Decision Feedback Equalization) である。  
なお、広く用いられている誤り訂正技術 (ITU-T r  
ecommendation G.975) では、識別器の閾値は固定されて  
いる。

【0004】受信側で誤り訂正を行うには、まず送信側  
で伝送情報に所定の演算処理を行い、その結果得られる  
冗長ビットを付加して送信する。したがって、通常はビ  
ットレートが増加する。受信側では、受信信号に所定の  
演算処理を行い、その結果と伝送されてきた冗長ビット  
を比較して誤り位置を検出し、排他的論理和で訂正す  
る。

【0005】一方、このようなバースト誤りに対処する  
方法として、閾値フィードバック等化法が提案されてい  
る (F. Buchali et al., "Adaptive decision feedback e  
qualizer for 10Gbit/s dispersion mitigation", ECOC  
'00, 5.2.5)。この方法には、識別再生された信号の  
符号誤り率 (BER) などを測定し、それが最小になる  
ように識別器の閾値を可変制御する構成と、それぞれ異  
なる閾値が設定された複数の識別器の中から最適な識別  
器を選択する構成がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】誤り訂正 (FEC) の  
問題点は、伝送信号のビットレートが上昇することであ  
る。例えば、海底伝送システムで現在検討されているス  
ーパー FEC (ここでは接続 FEC 符号を例とする) で  
は、7% の符号と 12.5% の符号を縦属に接続し、合計 22  
% の冗長符号を作り出している (O. A. Sab, "FEC techniq  
ues in submarinetransmission sysrems", OFC'01, TuF  
-1)。しかし、40Gbit/s などの高速伝送になると、ビ  
ットレートは 49Gbit/s 程度にもなり、電子回路の速度  
マージンを圧迫する可能性が出てくる。また、2 つの符  
号化回路の間にはビット伝送順序を攪拌するインターリー  
プ回路が用いられ、回路規模が増大する。さらに、反復  
復号技術を用いるので、復号化遅延が無視できなくな  
る。

【0007】このように FEC は、伝送信号のビットレ

ートと符号化ゲイン（誤り訂正能力）がトレードオフの関係にあり、最小限のビットレートの上昇で最大限の符号化ゲインを得る方法が求められている。また、FECは、ランダムな誤りには効果を発揮するが、バースト誤りにはあまり効果がない。例えば、偏波モード分散などのフェージング現象におけるゆっくりした変化では、符号語の中の大半のビットが誤ることが想定されるが、この場合には誤り訂正が困難になる（M.Tomizawa et al., "FEC performance in PMD-limited high-speed optical transmissions systems", ECOC'00, 5.2.4）。

【0008】一方、閾値フィードバック等化（DFE）の問題点は、フィードバック制御回路を用いた構成であるので、処理時間がかかり、速い変化に追従できないことにある。例えば、可変識別器の出力結果（あるいは複数の識別器の選択出力結果）の符号誤り率などを測定し、最適な閾値を設定（選択）するためには、数〜数百ビット相当の制御時間が必要になる。したがって、DFEはフェージングには効果があるが、雑音などのビットごとに相関のないランダム誤りには効果的でない。

【0009】なお、以上の説明は光伝送システムについてのものであるが、一般に有線または無線の電気のデジタル信号伝送でも同様である。

【0010】本発明は、FECとDFEのそれぞれの問題点を補完し、雑音に制限された系と、フェージングに制限された系のいずれにも適用でき、しかも伝送ビットレートを上昇させずに高品質な伝送を可能とするデジタル伝送システムを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、デジタルデータ信号を送信する送信装置と、伝送路を介して伝送されたデジタルデータ信号を受信し、所定の閾値と比較して識別再生を行う受信装置とを備えたデジタル伝送システムにおいて、受信装置は、同じ閾値を有する複数  $n$  個の識別器を 1 組として互いに閾値の異なる  $k$  組（ $n \times k$  個）の識別器と、受信信号を各識別器に分配する分配回路と、各識別器の識別結果の 1 つを選択して出力する選択回路と、各識別器の識別結果を入力し、各組ごとに  $n$  個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その 1 つの組の 1 つの識別器の識別結果を選択するように選択回路を制御する制御回路とを備える（請求項 1）。

【0012】また、光信号を伝送し、受信装置で電気信号に変換して処理する構成においても同様である（請求項 2）。また、受信装置は、同じ閾値を有する複数  $n$  個の識別器を 1 組として互いに閾値の異なる  $k$  組（ $n \times k$  個）の識別器と、デジタルデータ光信号を  $n$  系列に分配する光分配回路と、 $n$  系列に分配された光信号をそれぞれ受光する  $n$  系列の受光回路と、光分配回路または各受光回路の少なくとも一方の前段で光信号を増幅する光増幅器と、 $n$  系列の受光回路から出力される電気信号をそれぞれ閾値の異なる  $k$  組の識別器に分配する  $n$  系列の

分配回路と、各識別器の識別結果の 1 つを選択して出力する選択回路と、各識別器の識別結果を入力し、各組ごとに  $n$  個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その 1 つの組の 1 つの識別器の識別結果を選択するように選択回路を制御する制御回路とを備える構成としてもよい（請求項 3）。

【0013】また、請求項 3 の構成の光分配回路に代えて、デジタルデータ光信号の光周波数を変換して複数の光周波数の光信号を出力する光周波数変換回路と、複数の光周波数の光信号を各光周波数ごとに分波して各受光回路に入力させる光分波器とを備えてもよい（請求項 4）。

【0014】また、請求項 3 の構成において、送信装置は、複数の周波数モードの光パルスを送信する構成であり、受信装置は、光分配回路に代えて、複数の周波数モードの光パルス信号を分離して各受光回路に入力させる光分波器とを備えてもよい（請求項 5）。

【0015】また、請求項 3 の構成において、送信装置は、複数の光周波数の連続光を送信する構成であり、受信装置は、光分配回路に代えて、複数の光周波数の光変調信号を分離して各受光回路に入力させる光分波器を備えてもよい（請求項 6）。

【0016】また、請求項 3 の構成において、送信装置は、複数の偏波モードの光を送信する構成であり、受信装置は、光分配回路に代えて、複数の偏波モードの光変調信号を偏波ごとに分離して各受光回路に入力させる光偏波分離器を備えてもよい（請求項 7）。

【0017】また、請求項 3 の構成において、送信装置は、連続光あるいは光パルスを送信する構成であり、受信装置は、光分配回路に代えて、受信する光変調信号の光スペクトルを 2 分割分離して各受光回路に入力させる光サイドバンド分離器を備えてもよい（請求項 8）。

【0018】また、識別器として、同じ閾値を有しかつ閾値が標準より高め（または低め）に設定された 1 組（ $n$  個）の識別器を備え、さらに、論理 1（または論理 0）の信号を選択回路に入力する固定電圧発生器を備え、制御回路は、 $n$  個の識別器の識別結果に論理 1（または論理 0）が含まれていれば、固定電圧発生器の出力信号を選択するように選択回路を制御し、 $n$  個の識別器の識別結果に論理 1（または論理 0）が含まれていなければ、その 1 つの識別器の識別結果を選択するように選択回路を制御する構成としてもよい（請求項 9）。

【0019】また、識別器として、閾値が標準およびそれより高めおよび低めに設定された 3 個の識別器を備え、選択回路には、閾値が標準より高めに設定された識別器の出力および標準に設定された識別器の出力が接続

され、制御回路は、閾値が標準より高めおよび低めに設定された識別器の識別結果の一方が論理 1 であれば、閾値が標準に設定された識別器の識別結果を選択するように選択回路を制御し、両方ともに論理 1 または論理 0 であれば、閾値が標準より高めに設定された識別器の識別結果を選択するように選択回路を制御する構成としてもよい（請求項 10）。

【0020】また、送信装置から受信装置に、デジタルデータ信号またはデジタルデータ光信号が複数の伝送路を介して伝送される構成であり、受信装置は、複数の伝送を介して伝送された信号の遅延時間差をそろえる遅延回路を備え、各伝送路からの信号を複数の識別器に分配する構成としてもよい（請求項 11）。

【0021】

【発明の実施の形態】（第 1 の実施形態）図 1 は、本発明の第 1 の実施形態を示す。なお、送信装置側の構成は従来と同様であり、ここでは受信装置側の構成例を示す。また、光伝送システムにおける受信装置を例に説明するが、それに限るものではない。

【0022】図において、光信号は受光回路 1 で電気信号に変換され、その電気信号が分配回路 2 で複数系列に分配され、閾値 1 の識別器 3-11～3-1n、閾値 2 の識別器 3-21～3-2n、…、閾値 k の識別器 3-k1～3-kn にそれぞれ入力される。すなわち、同じ閾値の n 個の識別器を 1 組とすると、k 組の識別器に分配される。分配数は、同じ閾値を有する識別器の数 n と、閾値の種類 k の積（n×k）となる。各識別器の識別結果は、制御回路 4 に入力されるとともに、各組の少なくとも 1 つの識別器の識別結果が選択回路 5 に入力される。制御回路 4 は、各識別器の識別結果に基づいて選択回路 5 を制御し、1 つの識別器の識別結果を選択して出力する。

【0023】本実施形態では、光伝送路における S/N 劣化およびフェージングなどの波形劣化が生じた信号が各識別器に入力され、さらに各識別器における雑音は互いに独立に付加される。したがって、各識別器ではこの雑音付加により、同じ閾値に対する n 個の識別結果がすべて同じ値（1 または 0）を示す組や、n 個の識別結果のうちいくつか異なる値を示す組が生じる。制御回路 4 は、各識別器の識別結果を入力し、同じ閾値に対する n 個の識別結果がすべて同じ値（論理 1 または 0）を示し、かつ論理 1 を示す組と論理 0 を示す組の多い方の組を選択する。例えば、k 組中、論理 1 を示す組が論理 0 を示す組よりも多ければ、論理 1 を示す組の 1 つを選択し、さらにその組の n 個の識別器のうちの 1 つの識別結果を選択する。この制御回路 4 の論理は、一番確度の高い識別結果を得るための「多数決論理」と言える。

【0024】制御回路 4 の多数決論理の一例を図 1 に示す。ここでは、5 種類の閾値に対して、それぞれ 3 つの識別器があるものとする。閾値 1、2、3 では 3 つの識

別結果が論理 1、閾値 4 では 2 つの識別結果が論理 1、1 つの識別結果が論理 0、閾値 5 では 3 つの識別結果が論理 0 とする。この例では、識別結果として論理 1 を出力する閾値 1、2、3 のいずれかの識別器の出力が選択される。これによりビット誤り特性が改善される。

【0025】ところで、以上の多数決論理でもビット誤りが生じるケースとして、① k 組の識別器について、n 個の識別結果がすべて同じ値になる組が存在せず、どれかを出力した場合、②各識別器がすべて同様に誤る場合がある。ここで、最適固定閾値におけるビット誤り率を p とし、異なる k 種類の閾値に対するビット誤り率を  $p_1, p_2, \dots, p_k$  とすると、①の確率は  $p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_k$  が  $n^k$  通りあり、②の確率はある閾値のビット誤り率  $p_j$  を用いて  $p_j^n$  と表され、これが閾値分だけある。したがって、誤りが下流に伝搬する確率  $P_e$  は

【0026】

【数 1】

$$P_e = \sum_{j=1}^k p_j^n + n^k \prod_{i=1}^k p_i$$

【0027】と表される。例えば  $n = k = 2$  の場合、また  $p_1 = p_2 = 5p$  と仮定すると、

$$P_e = 150 p^2$$

となる。したがって、 $p = 10^{-6}$  の場合は  $P_e = 1.5 \times 10^{-10}$  となり、十分に誤り訂正効果があることがわかる。この誤り訂正効果を見積もると、図 2 のようになる。ここで、最適識別点に固定された選択動作のない受信装置で、FEC もない構成の場合の誤り率  $10^{-12}$  における Q 値と、本発明あるいは本発明と FEC を併用した場合の誤り率  $10^{-12}$  における Q 値との dB 差を「利得」と定義すると、本発明における受信装置ではビットレートの上昇が 0 で利得 2.3dB となり、本発明と FEC を併用した受信装置ではビットレートの上昇が 7% で利得 7.5dB が得られる。

【0028】（第 2 の実施形態）図 3 は、本発明の第 2 の実施形態を示す。なお、送信装置側の構成は従来と同様であり、ここでは受信装置側の構成例を示す。また、光伝送システムにおける受信装置を例に説明するが、それに限るものではない。

【0029】図において、光信号は光増幅器 11-0 で増幅され、光分配回路（光カプラ）12 で複数 n 系列に分配される。分配された各光信号はそれぞれ光増幅器 11-1～11-n で増幅され、受光回路 1-1～1-n で電気信号に変換される。それぞれの電気信号は、さらに分配回路 2-1～2-n でそれぞれ複数 k 系列に分配される。ここで、分配回路 2-1 の分配出力は、閾値 1 の識別器 3-11、閾値 2 の識別器 3-21、…、閾値 k の識別器 3-k1 に入力され、以下同様に、分配回路 2-n の分配出力は、閾値 1 の識別器 3-1n、閾値 2 の識別器 3-2n、…、閾値 k の識別器 3-kn に入力

される。各識別器の識別結果は、制御回路 4 および選択回路 5 に入力される。制御回路 4 は、各識別器の識別結果に基づいて選択回路 5 を制御し、1 つの識別器の識別結果を選択して出力する。

【0030】本実施形態では、同じ閾値を有する各組の  $n$  個の識別器には、 $n$  系列の光増幅器および受光回路を通過した信号が入力され、それらの独立した雑音と識別器の雑音を含めて、第 1 の実施形態と同様の「多数決論理」で 1 つの識別結果を選択することができる。

【0031】なお、光信号のビット誤り率特性は、受信装置（光増幅器）の入力前の  $SN$  比でほぼ決定され、一旦増幅された後に分岐数分の損失があってもほとんどビット誤り率特性には影響しないことが知られている（石尾 他、「光増幅器とその応用」（オーム社））。一方、光伝送システムでは、光増幅器と受光回路の雑音が支配的であることが知られている。したがって、光増幅器および受光回路の雑音も独立事象として扱うことができる本実施形態の構成は、無中継長距離伝送システムの高品質な伝送に寄与することができる。

【0032】（第 3 の実施形態）図 4 は、本発明の第 3 の実施形態を示す。なお、送信装置側の構成は従来と同様であり、ここでは受信装置側の構成例を示す。

【0033】図において、光信号は光増幅器 11-1 で増幅され、光周波数変換回路（例えば非線形効果を用いた波長変換素子）13 で光周波数変換される。ここでは、光周波数  $f_a$  の光信号に対して、光周波数  $f_a$  と  $f_b$  の光信号に変換されるものとする。この 2 つの光周波数の光信号は光増幅器 11-2 で増幅され、光分波器（光周波数分離フィルタ）14 で各光周波数の光信号に分波される。分波された各光信号はそれぞれ受光回路 1-1, 1-2 で電気信号に変換される。それぞれの電気信号は、さらに分配回路 2-1, 2-2 でそれぞれ 2 系列に分配される。ここで、分配回路 2-1 の分配出力は、閾値 1 の識別器 3-11、閾値 2 の識別器 3-21 に入力され、分配回路 2-2 の分配出力は、閾値 1 の識別器 3-12、閾値 2 の識別器 3-22 に入力される。各識別器の識別結果は、制御回路 4 および選択回路 5 に入力される。制御回路 4 は、各識別器の識別結果に基づいて選択回路 5 を制御し、1 つの識別器の識別結果を選択して出力する。

【0034】本実施形態では、同じ閾値を有する 2 つの識別器には、異なる光周波数の光信号に対して受光回路の雑音が付加された電気信号が入力され、第 2 の実施形態と同様にそれらの独立した雑音と識別器の雑音を含めて、第 1 の実施形態と同様の「多数決論理」で 1 つの識別結果を選択することができる。

【0035】（第 4 の実施形態）図 5 は、本発明の第 4 の実施形態を示す。本実施形態は、送信装置側に特徴があり、受信装置は第 3 の実施形態から光周波数変換回路を除いた構成で対応することができる。

【0036】図において、光送信機は、複数の光周波数の光パルス、例えば互いに光位相が反転するキャリア抑圧  $RZ$  パルスを出力する 2 モード光パルス発生回路 21 と、光変調器 22 と、光増幅器 23 により構成される。光変調器 22 はデータ信号により変調し、2 つのモードからなる  $RZ$  パルス（ $CS-RZ$  (Carrier Suppressed Return-to-Zero) 符号、または  $DCS-RZ$  (Duobinary Carrier Suppressed Return-to-Zero) 符号) の光信号を出力する。

【0037】受信装置の光分波器 14 は  $SSB$  分離を行う構成であり、2 つのモードからなる  $RZ$  パルス（ $CS-RZ$  符号または  $DCS-RZ$  符号）を分離し、2 つの  $NRZ$  信号またはデュオバイナリ信号とする。以下第 3 の実施形態と同様に、それぞれ受光回路 1-1, 1-2 で電気信号に変換され、分配回路 2-1, 2-2 を介してそれぞれ対応する識別器 3-11 ~ 3-22 に入力され、第 1 の実施形態と同様の「多数決論理」で 1 つの識別結果を選択する。

【0038】本実施形態では、2 つの周波数モードの光は独立であり、光伝送路中のすべての光中継器から受ける雑音は、モード間で相関のないランダム雑音になることを利用している。これにより、2 つのモードに対応する光信号を異なる閾値の識別器で識別して「多数決論理」で 1 つを選択することにより、光中継器からの雑音によるビット誤りも訂正することが可能となる。

【0039】（第 5 の実施形態）第 4 の実施形態の光送信機では、2 モード光パルス発生回路 21 から出力される 2 つの異なる光周波数の光パルスを、光変調器 22 でデータ信号により変調する構成を示したが、2 つの異なる光周波数の連続光をデータ信号により変調する構成としてもよい。この第 5 の実施形態における連続光発生回路としては、発振波長の異なる 2 つのレーザ光源を用いてもよいし、2 つのサイドモード発生回路を用いてもよい。受信装置は、図 5 に示す第 4 の実施形態のもので対応することができる。なお、第 4 の実施形態では、光パルスの位相とデータ信号による変調位相を制御する必要があるが、本実施形態の構成では位相制御の必要はない。

【0040】（第 6 の実施形態）図 6 は、本発明の第 6 の実施形態を示す。本実施形態は、第 4 の実施形態の光送信機の 2 モード光パルス発生回路 21 に代えて 2 偏波モード光発生回路 24 を用い、受信装置の光分波器 14 に代えて光偏波分離器 25 を用いる。

【0041】2 偏波モード光発生回路 24 は、2 つの偏波モードの連続光または光パルスを発生する。光偏波分離器 25 は、2 つの偏波モードの光信号を偏波ごとに分離し、以下第 3 の実施形態と同様に、それぞれ受光回路 1-1, 1-2 で電気信号に変換され、分配回路 2-1, 2-2 を介してそれぞれ対応する識別器 3-11 ~ 3-22 に入力され、第 1 の実施形態と同様の「多数決

論理」で1つの識別結果を選択する。

【0042】なお、偏波に依存した波形劣化の原因として、偏波モード分散(PMD)、偏波依存ロス(PDL)などがあるが、本実施形態による構成では偏波に依存した波形劣化などに対して受信特性を改善することができる。

【0043】(第7の実施形態)図7は、本発明の第7の実施形態を示す。本実施形態は、第4の実施形態または第5の実施形態のような2つの光周波数またはモードを用いない構成を特徴とする。

【0044】図において、光送信機は、光発生回路26から出力される連続光または光パルスを光変調器22でデータ信号により変調して送信する。この構成は、通常のNRZまたはRZの送信装置の構成と同様であり、第4の実施形態または第5の実施形態と比べて周波数利用効率を高めることができる。

【0045】受信装置の光サイドバンド分離器27は、通常のNRZまたはRZスペクトルの側帯波を切り出し、2つのモードに分離する。以下第3の実施形態と同様に、それぞれ受光回路1-1、1-2で電気信号に変換され、分配回路2-1、2-2を介してそれぞれ対応する識別器3-11~3-22に入力され、第1の実施形態と同様の「多数決論理」で1つの識別結果を選択する。受光回路1-1、1-2は、シングルサイドバンド受信器あるいはベスディジタルサイドバンド受信器を用いることができる(参考文献:S.Bigo et al., Dig. OFC2001, PD25, 2001)。

【0046】(第8の実施形態)図8は、本発明の第8の実施形態を示す。なお、送信装置側の構成は従来と同様であり、ここでは受信装置側の構成例を示す。また、光伝送システムにおける受信装置を例に説明するが、それに限るものではない。

【0047】図において、光信号は光増幅器11-0で増幅され、光分配回路(光カプラ)12で2系列に分配される。分配された各光信号はそれぞれ光増幅器11-1、11-2で増幅され、受光回路1-1、1-2で電気信号に変換される。それぞれの電気信号は、標準の閾値より高めに設定された閾値Hの識別器3-11および識別器3-12に入力される。各識別器の識別結果は、制御回路4に入力されるとともに、その一方(ここでは識別器3-11の出力)が選択回路5に入力される。また、選択回路5には、固定電圧発生器15から論理1の信号が入力される。制御回路4は、各識別器の識別結果に基づいて選択回路5を制御し、1つの識別器の識別結果または固定電圧発生器15の出力を選択して出力する。

【0048】例えば図8に示すように、論理0の受信信号が識別器に入力されると、各識別器の閾値が標準より高く設定されているので、多少の雑音が付加されたとしても2つの識別結果は論理0となる確率が高い。このと

き、制御回路4は、識別器3-11の識別結果(論理0)を選択するように選択回路5を制御する(図中丸印)。

【0049】一方、論理1の受信信号が識別器に入力されると、雑音の付加により2つの識別結果がともに論理1または一方が論理1となる確率が高い。したがって、少なくとも一方の識別結果が論理1であれば、受信信号が論理1の信号であると判断し、固定電圧発生器15の出力(論理1)を選択する。これにより、雑音成分のない論理1の信号を出力することができる。

【0050】なお、制御回路4における以上の判定は、論理和回路により実現することができる。また、2つの識別結果がともに論理1になる場合には、ともに論理0になる場合と同様に、識別器3-11の識別結果(論理1)を選択するようにしてもよい。この場合には、制御回路4は排他的論理和回路により実現することができる。これは、識別器の数が3以上になる場合にも同様に適用できる。また、識別器3-11、3-12の閾値を標準より低めに設定した場合には、上記の論理を反転させることにより同様に対応することができる。

【0051】さらに、本実施形態では、論理1を出力する固定電圧発生器15を用いた例を示したが、論理0を出力する固定電圧発生器を加え、2つの識別結果がともに論理0になる場合には、この固定電圧発生器の出力(論理0)を選択するようにしてもよい。これにより、論理0についても雑音成分のない信号を出力することができる。この場合の制御回路は、2つの識別結果の少なくとも一方が論理1であるか、ともに論理0であるかに応じて、受信信号が論理1か論理0かを判定するものであり、その判定に基づいて固定電圧発生器からの論理1または論理0の信号を選択する。

【0052】(第9の実施形態)図9は、本発明の第9の実施形態を示す。なお、送信装置側の構成は従来と同様であり、ここでは受信装置側の構成例を示す。また、光伝送システムにおける受信装置を例に説明するが、それに限るものではない。

【0053】図において、光信号は光増幅器11-0で増幅され、光分配回路(光カプラ)12で2系列に分配される。分配された各光信号はそれぞれ光増幅器11-1、11-2で増幅され、受光回路1-1、1-2で電気信号に変換される。受光回路1-1から出力される電気信号は、さらに分配回路2-1で2系統に分配され、それぞれ標準の閾値より高めに設定された閾値Hの識別器3-11と、標準より低めに設定された閾値Lの識別器3-12に入力される。また、受光回路1-2から出力される電気信号は、標準の閾値Mに設定された識別器3-13に入力される。各識別器の識別結果は制御回路4に入力されるとともに、識別器3-11および識別器3-13の出力が選択回路5に入力される。制御回路4は、識別器3-11、3-12の識別結果に基づいて選

択回路 5 を制御し、1 つの識別器の識別結果を選択して出力する。

【0054】例えば図 9 に示すように、論理 0 の受信信号が閾値 H の識別器 3-11 および閾値 L の識別器 3-12 に入力されると、雑音の付加により 2 つの識別結果がともに論理 0 または閾値 L の識別器 3-12 の識別結果が論理 1 となる確率が高い。したがって、識別結果がともに論理 0 であれば、閾値 H の識別器 3-11 の識別結果（論理 0）を選択するように選択回路 5 を制御する。また、閾値 L の識別器 3-12 の識別結果が論理 1

【0055】一方、論理 1 の受信信号が閾値 H の識別器 3-11 および閾値 L の識別器 3-12 に入力されると、雑音の付加により 2 つの識別結果がともに論理 1 または閾値 H の識別器 3-11 の識別結果が論理 0 となる確率が高い。したがって、識別結果がともに論理 1 であれば、閾値 H の識別器 3-11 の識別結果（論理 1）を選択するように選択回路 5 を制御する。また、閾値 H の識別器 3-11 の識別結果が論理 0 であれば、閾値 M の識別器 3-13 に判定を委ね、その判定結果を選択するように選択回路 5 を制御する。

【0056】なお、制御回路 4 における以上の判定は、排他的論理和回路により実現することができる。

【0057】（第 10 の実施形態）図 10 は、本発明の第 10 の実施形態を示す。第 2 の実施形態や第 3 の実施形態では、受信した光信号を複数系列に分配し、光増幅器や受光回路の雑音の影響も含めて識別判定する構成であったが、本実施形態では送信側から複数の光伝送路に並列送信した信号を受信する構成に適用するものである。すなわち、ダイバーシチ受信装置の新たな選択論理を提供するものである。ただし、本発明ではビット単位の多数決論理により、最適の閾値の識別器を選択してその識別結果を採用するものである。

【0058】図において、複数の光伝送路から受信する光信号は、それぞれ対応する光増幅器 11-1、11-2 を介して受光回路 1-1、1-2 に入力される。それ以降の構成は、第 2 の実施形態や第 3 の実施形態と同様であるが、異なる光伝送路で異なる遅延を受けた信号を識別することになるので、その同期をとるための遅延回路 16-1、16-2 が設けられる。

【0059】本実施形態では、複数の光伝送路の光は独立であり、光伝送路中のすべての光中継器から受ける雑音は、伝送路間で相関のないランダム雑音になることを利用している。これにより、2 つの光伝送路に対応する光信号を異なる閾値の識別器で識別して「多数決論理」で 1 つを選択することにより、光中継器からの雑音によるビット誤りも訂正することが可能となる。

【0060】なお、識別器の構成およびその選択論理については、第 5 の実施形態や第 6 の実施形態の構成をとるようにしてもよい。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のデジタル伝送システムは、伝送信号のビットレートを上昇させることなく効果的に誤り訂正を行うことができる。また、誤り率が低くなる閾値を選択する構成であるので、フェージングなどの劣化にも最適な閾値を継続して選択し、効果的に誤り訂正を行うことができる。

【0062】さらに、フィードフォワード構成によりビットごとの瞬時の閾値を選択することができるので、信号受信当初から誤り訂正が可能であるとともに、ビットごとの相関のないランダム誤りに効果的に対処することができる。

【0063】また、本発明は伝送路および中継器の雑音による信号誤りに対しても効果的に誤り訂正を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態を示す図。

【図 2】第 1 の実施形態による誤り率特性を示す図。

【図 3】本発明の第 2 の実施形態を示す図。

【図 4】本発明の第 3 の実施形態を示す図。

【図 5】本発明の第 4 の実施形態を示す図。

【図 6】本発明の第 6 の実施形態を示す図。

【図 7】本発明の第 7 の実施形態を示す図。

【図 8】本発明の第 8 の実施形態を示す図。

【図 9】本発明の第 9 の実施形態を示す図。

【図 10】本発明の第 10 の実施形態を示す図。

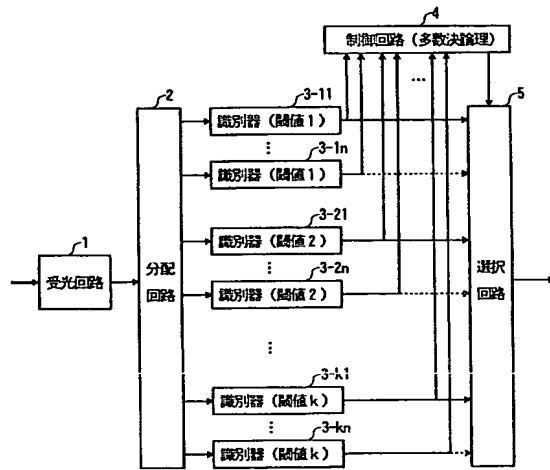
【符号の説明】

- 1 受光回路
- 2 分配回路
- 3 識別器
- 4 制御回路
- 5 選択回路
- 11 光増幅器
- 12 光分配回路
- 13 光周波数変換回路
- 14 光分波器
- 15 固定電圧発生回路
- 16 遅延回路
- 21 2 モード光パルス発生回路
- 22 光変調器
- 23 光増幅器
- 24 2 偏波モード光発生回路
- 25 光偏波分離器
- 26 光発生回路
- 27 光サイドバンド分離器



【図1】

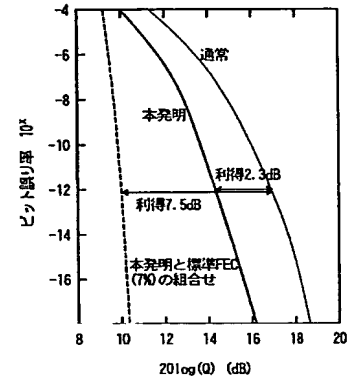
本発明の第1の実施形態



	識別器 1	識別器 2	識別器 3	
閾値 1	1	1	1	} この中の1つを選択
閾値 2	1	1	1	
閾値 3	1	1	1	
閾値 4	1	0	1	
閾値 5	0	0	0	

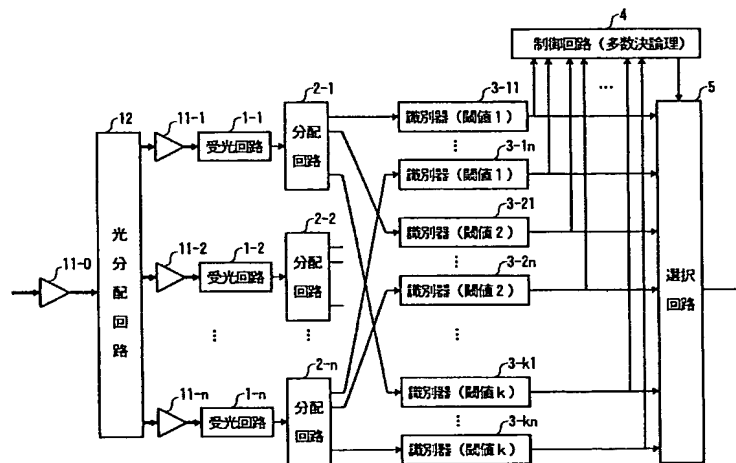
【図2】

第1の実施形態による誤り率特性



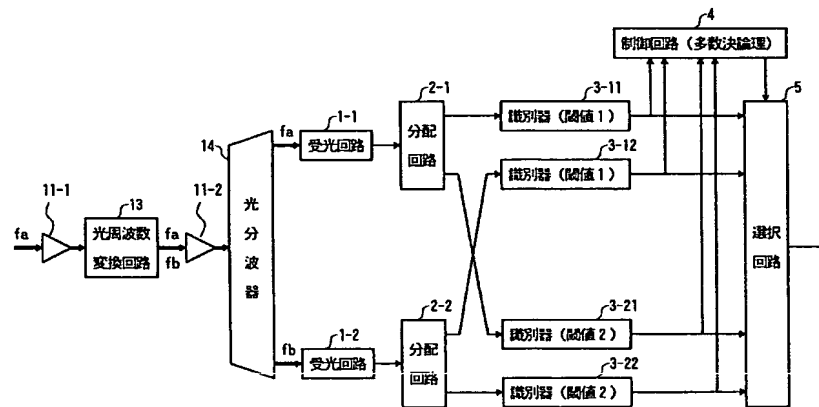
【図3】

本発明の第2の実施形態



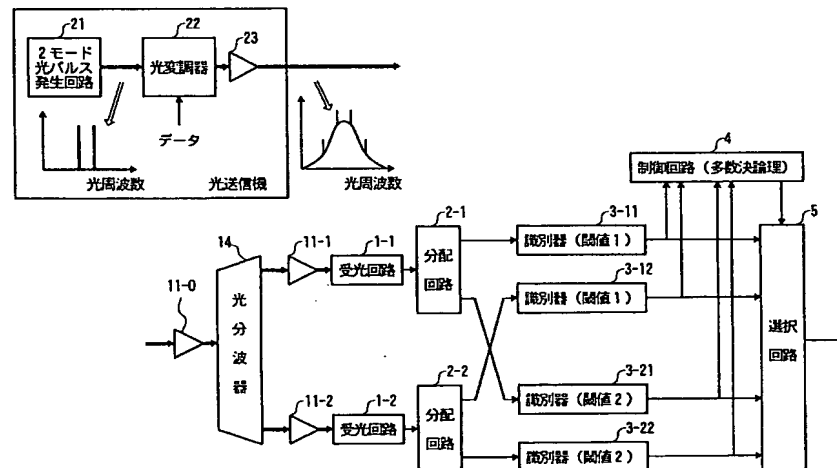
【図 4】

本発明の第 3 の実施形態



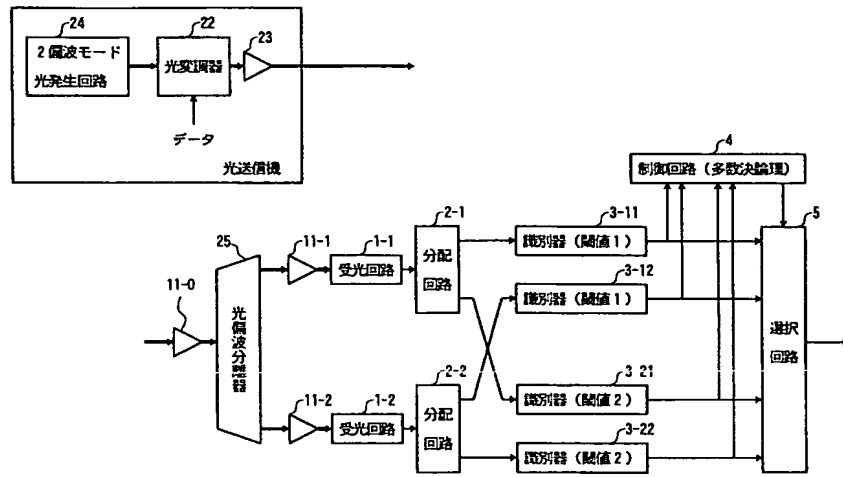
【図 5】

本発明の第 4 の実施形態



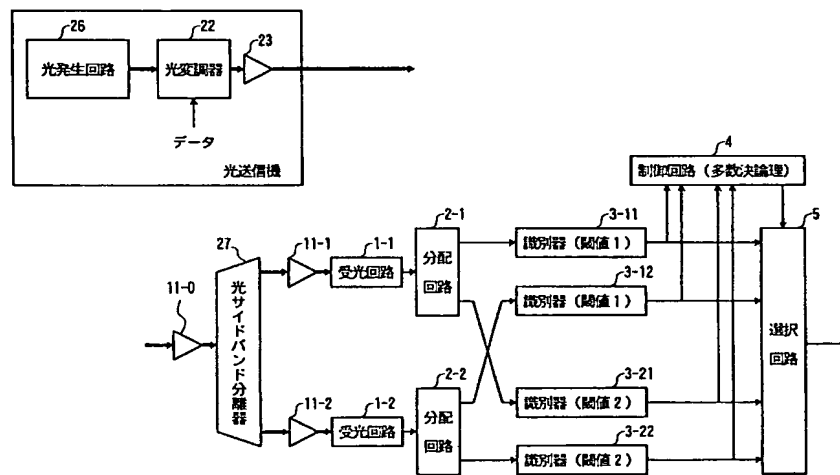
【図 6】

本発明の第 6 の実施形態



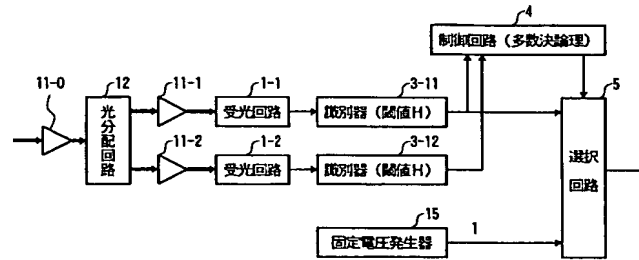
【図 7】

本発明の第 7 の実施形態



【図 8】

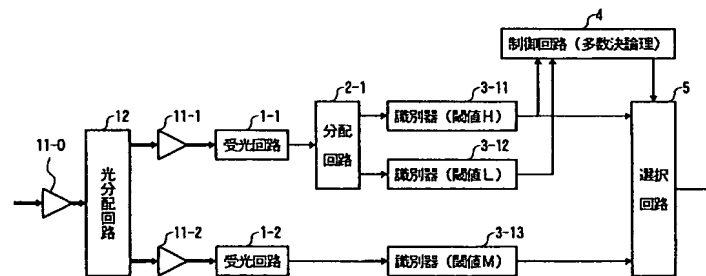
本発明の第 8 の実施形態



受信信号	閾値 H	閾値 H	「1」発生器 15
1	1	1	①
1	1	0	①
1	0	1	①
0	①	0	1

【図 9】

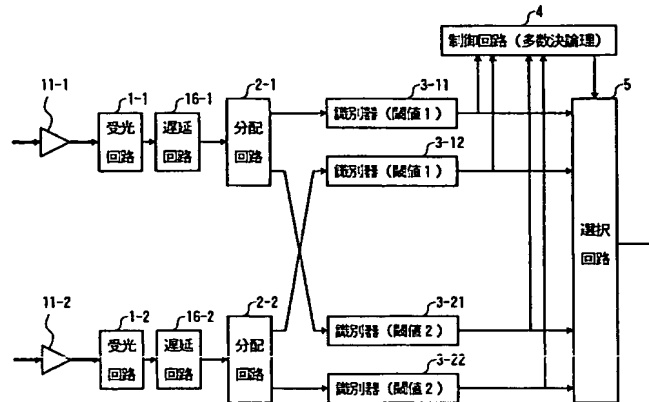
本発明の第 9 の実施形態



受信信号	閾値 H	閾値 L	閾値 M
1	①	1	①
1	0	1	①/1
0	0	1	①/1
0	①	0	①

【図 10】

本発明の第10の実施形態



フロントページの続き

(72)発明者 木坂 由明  
 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日  
 本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 5J065 AA01 AB01 AC02 AH09 AH13  
 5K102 AA01 AA69 AD01 AD15 AH05  
 AH22 KA01 KA28 KA39 MA02  
 MB13 MB14 MB15 MC30 PH22  
 PH47 PH49 RB04 RD01 RD02

(72)発明者 宮本 裕  
 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日  
 本電信電話株式会社内